zaopatrzenie w wodę,
oczyszczanie i dystrybucja wody

Jurij RYBACZUK, Andrzej JODŁOWSKI*

WYBRANE PROBLEMY ZAOPATRZENIA W WODĘ MIASTA CHARKOWA (UKRAINA)

Charków to największe miasto we wschodniej Ukrainie. Jego system zaopatrzenia w wodę opiera się na zasobach wód powierzchniowych położnych w znacznej odległości od miasta. Duża część przewodów wodociągowych charakteryzuje się wysokimi wskaźnikami awaryjności. Wiąże się to ze znacznymi stratami wody na poziomie 40% ilości wody dostarczanej do miasta. Obniżenie maksymalnego ciśnienia w sieci wodociągowej do 45 m nie rozwiązuje problemu awarii i utraty wody ze względu na specyficzną strukturę podsystemu dystrybucji wody. Złożony system zaopatrzenia w wodę miasta wyposażony jest w dużą liczbę pomp, zaworów, hydrantów i innych urządzeń, które wymagają szybkiej wymiany. W Charkowie konieczne jest podjęcie natychmiastowej modernizacji sieci wodociągowej obejmującej wymianę wielu odcinków sieci wodociągowej. Niezbędne jest także wprowadzenie systemów GIS i ASSTP w celu zapewnienia prawidłowego funkcjonowania sieci wodociągowej miasta.

1. WSTĘP

Charków położony jest w północno-wschodniej części Ukrainy na południowym krańcu Wyżyny Środkoworosyjskiej. Zajmuje powierzchnię 306 km^2. Fizjografia terenu jest zróżnicowana. Najwyższy punkt położony jest na wysokości 206 m n.p.m., a najniższy leży na wysokości 94 m n.p.m. Przez miasto przepływają rzeki Łopań, Charków, Udy i Niemyszlia, które są dopływami rz. Doniec.

Charków jest drugim co do wielkości miastem Ukrainy i stanowi jeden z jej największych ośrodków przemysłowych i kulturalno-naukowych. Miasto powstało ok. 1655 roku jako osada wojskowa Kozaków. Od końca XVIII wieku jest ośrodkiem kulturalnym stanowiąc od drugiej połowy XIX wieku centrum handlowe i przemysłowe. W 1805 roku powstał w Charkowie uniwersytet. Obecnie funkcjonuje 20 szkół wyższych.

* Politechnika Łódzka, Instytut Inżynierii Środowiska i Instalacji Budowlanych, Al. Politechniki 6, 90–924 Łódź, andrzej.jodlowski@p.lodz.pl.

Liczba mieszkańców Charkowa wynosi ok. 1,4 mln, przy czym aglomerację zamieszkuje ok. 1,6 mln osób.

W mieście funkcjonują zakłady przemysłu maszynowego, zbrojeniowego, metalowego, chemicznego, lotniczego i materiałów budowlach. Reprezentowane są także zakłady przemysłu lekkiego i spożywczego. Złożony organizm miejski, jakim jest Charków, wymaga niezawodnej dostawy znacznej ilości wody.

System zaopatrzenia miasta w wodę został uruchomiony już w 1880 roku w oparciu o wody podziemne. Jego funkcjonowanie umożliwiło zmniejszenie rocznej śmiertelności w Charkowie z 60,2/1000 mieszk. do 24,8/1000 mieszk. Dynamiczny wzrost liczby mieszkańców spowodował konieczność poszukiwania innych źródeł wody. Obecnie Charków zaopatrywany jest w wodę z trzech podstawowych źródeł, głównie z wykorzystaniem wód powierzchniowych. Pierwszym z nich jest Zbiornik „Pieczenieski" utworzony na rz. Doniec, położony ok. 40 km od miasta. Drugim źródłem zaopatrzenia w wodę jest Zbiornik „Czerwonopawliwski" zasilany wodami Kanału „Dniepr-Donbas" znajdujący się w odległości ok. 140 km od miasta. Trzecim zaś jest zespół studni artezyjskich zlokalizowanych w granicach administracyjnych miasta oraz w jego pobliżu. Złożony system zaopatrzenia wodę stwarza, zwłaszcza w ostatnim czasie, wiele problemów natury techniczno-organizacyjnej [8].

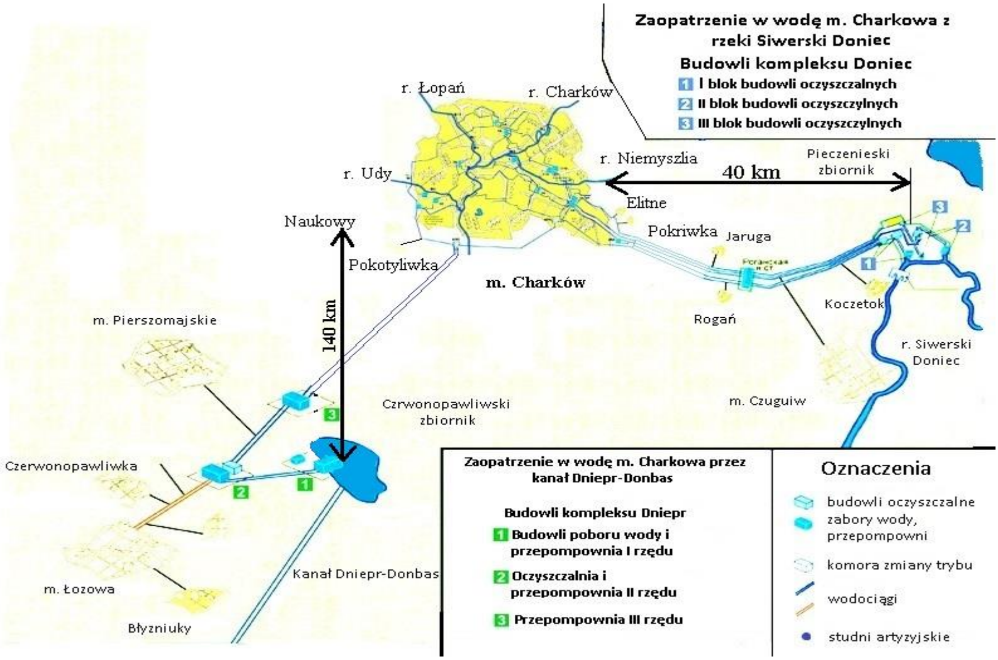
Celem pracy jest charakterystyka systemu zaopatrzenia w wodę miasta Charkowa oraz wskazanie jego aktualnych problemów technicznych i organizacyjnych.

2. POBÓR WODY NA CELE WODOCIĄGOWE

Trasy dostawy wody do miasta Charkowa przedstawiono na rys. 1. Najważniejszym źródłem zaopatrzenia miasta w wodę jest Zbiornik „Pieczenieski" zasilany wodami rz. Doniec. Rz. Doniec o długości 1053 km i powierzchni dorzecza 98900 km^2 jest prawobrzeżnym dopływem rz. Don. Rz. Doniec wypływa ze źródeł położonych na południowych zboczach Wyżyny Środkoworosyjskiej, płynie skrajem Wyżyny Donieckiej i uchodzi do Donu na południe od miejscowości Ust'-Donieck. Rz. Doniec zaopatruje w wodę Charków i Zagłębie Donieckie poprzez Kanał Doniec-Donbas. Zbiornik „Pieczenieski" znajduje się w jej górnym biegu.

Ostatnio, w 2015 r., przeprowadzono badania nad stanem jakościowym wód zlewni rz. Doniec. Monitoring prowadzono w 9 punktach. Na rz. Doniec zlokalizowano 6 punktów, a 3 punkty na jego dopływach – rzekach Udy, Oskoł oraz Kazański Torec. Stwierdzono, że pomimo odprowadzania ścieków bytowych i przemysłowych w obrębie zlewni rz. Doniec, ujmowana woda spełnia wymagania określone dla trzeciej kategorii, co odpowiada wodzie o stosunkowo niewielkim stopniu zanieczyszczenia. W tabeli 1 przedstawiono wartości wybranych wskaźników jakości wody ujmowanej

do celów wodociągowych ze Zbiornika „Pieczenieskiego” i porównano z wartościami dopuszczalnymi określonymi w normie СанПiН 4630-88.



Rys. 1. Schemat zaopatrzenia miasta Charkowa w wodę

Pomimo, że jakość wody odpowiada obowiązującym wymaganiom, to niepokojące są wartości wskaźników kształtowanych przez odprowadzane ścieki przemysłowe. Wysokie wartości odnotowano także w odniesieniu do wskaźników charakteryzujących stan troficzny zbiornika.

Woda po uzdatnieniu kierowana jest do miasta pięcioma przewodami tranzytowymi o średnicach od 900 do 1600 mm. Układ przesyłu wody o łącznej długości 167,66 km zbudowano w latach 1936–1982. System ten dostarcza wodę w ilości 430 tys. m^3/d i zaspokaja zapotrzebowanie wodociągu miejskiego w 75%.

Drugim niezależnym źródłem zaopatrzenia jest Zbiornik „Czerwonopawliwski” o pojemności 410 mln m^3 stanowiący element Kanału „Dniepr-Donbas”. Kanał zbudowano w latach 1970-1981. Trasa kanału zaczyna się od Zbiornika „Dnieprodzierżyńskiego”, przechodzi tunelem pod rzeką Oril, prowadzona jest przez obwód dniepropietrowski, a następnie przez tereny obwodu charkowskiego, gdzie łączy się ze Zbiornikiem „Orelkiwskim” i Zbiornikiem „Czerwonopawliwskim”. Zbiorniki te zbudowano głównie w celu regulacji natężenia przepływu i zapewnienia zapasu wody w razie awarii (rys. 2). Przekrój poprzeczny kanału ma kształt trapezoidalny. Szerokość dna wynosi ok. 10 m, szerokość górnej części wynosi 30–60 m, a głębokość

4–5 m. Na trasie kanału znajduje się 5 akweduktów i 12 stacji pomp umożliwiających pokonanie różnicy rzędnych lustra wody pomiędzy Zbiornikiem „Dnieprodzierżyńskim" i Zbiornikiem „Czerwonopawliwskim" wynoszącej 63 m. Woda płynie dalej grawitacyjnie wykorzystując częściowo koryto rz. Bereka i wpływa do rz. Doniec. Zbiornik Czerwonopawliwski został połączony z Charkowem kanałem o długości 142 km, który dostarcza wodę również do miast Łozowa i Perwomajskij. Wymiana wody w zbiorniku następuje dwukrotnie w ciągu roku – jesienią i wiosną.

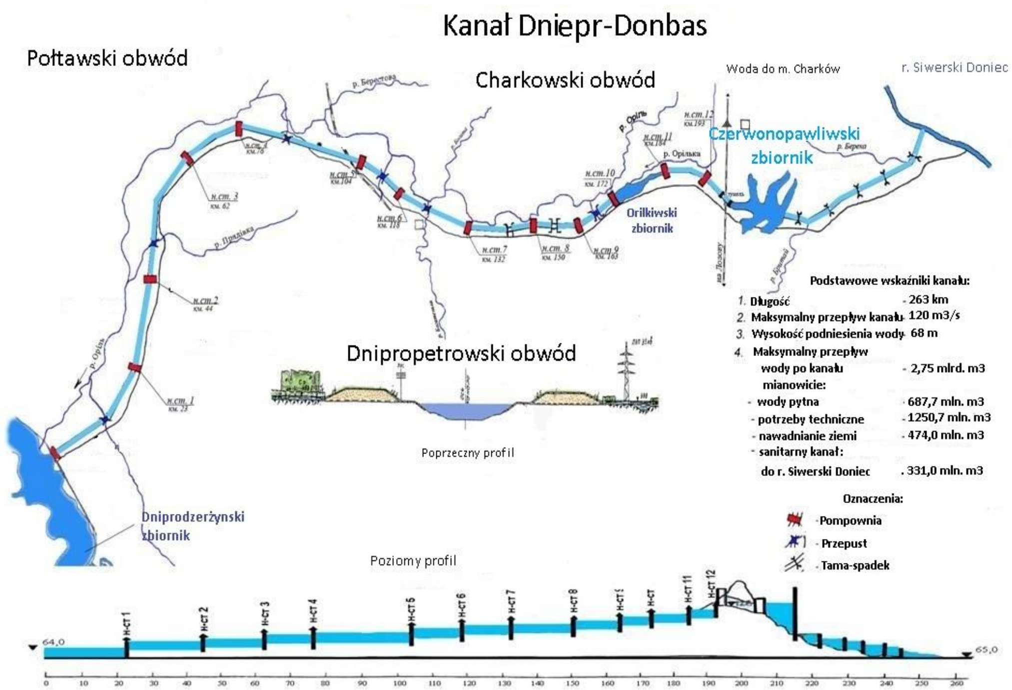
Tabela 1. Jakość wody ujmowanej ze Zbiornika „Pieczenieskiego"

Wskaźnik	Wartość	Wartość dopuszczalna
BZT_5, mg O_2/dm^3	2,71	15,0
ChZT, mg O_2/dm^3	21,0	3,0
Siarczany, mg SO_4/dm^3	175	500
Chlorki, mg Cl/dm^3	56	350
Sucha pozostałość, mg/dm^3	511	1000
Azot amonowy, mg $N\text{-}NH_4/dm^3$	0,35	2,0
Azotany (III), mg NO_2/dm^3	0,005	3,5
Azotany (V), mg NO_3/dm^3	1,1	45
Fosforany, mg PO_4/dm^3	0,72	3,5
Fitoplankton, org./mg	3,64	-
Zooplankton, µg/dm^3	28,8	-
SPC, mg/dm^3	0,002	0,5
Substancje ropopochodne, mg/dm^3	0,04	0,3
Żelazo, mg Fe/dm^3	0,15	0,3
Miedź, mg Cu/dm^3	0,0025	1,0
Cynk, mg Zn/dm^3	0,009	1,0
Mangan, mg Mg/dm^3	0,02	0,1
Nikiel, mg Ni/dm^3	0,012	0,01
Ołów, mg Pb/dm^3	0,023	0,025

Ujęcie wody ze Zbiornika „Czerwonopawliwskiego" jest unikalną konstrukcją wyspową umożliwiającą pobór wody z głębokości 29 m. Pompownia wody I składa się z dwóch komór. W każdej z nich zainstalowano po 3 agregaty pompowe z regulatorami prędkości obrotowej (2×1200W 6,3/40 i 1×1600W 10/40).

Stacja uzdatniania wody obejmuje blok koagulacji z pionowymi komorami flokulacji, osadnikami poziomymi, zespół filtrów pospiesznych, system dezynfekcji, zbiorniki wody uzdatnionej oraz pompownię II. Proces koagulacji realizowany jest z użyciem siarczanu glinu w dawkach zwykle od 2 do 5 mg/dm^3, a w okresach powodzi do 10 mg/dm^3. W celu obniżenia twardości wody stosuje się wapno. Stacja wyposażona jest w 12 osadników poziomych o długości 60 m i szerokości 6 m i 24 jednowarstwowe

filtry pospieszne o wymiarach w rzucie 6×12 m. Dezynfekcja prowadzona jest podchlorynem sodu wprowadzanym do zbiorników wody czystej. Przed skierowaniem wody uzdatnionej do przewodów tranzytowych dodawane są do niej sole amonowe. Pompownia II° wyposażona jest w pompy Д4000-95 łączone szeregowo z pompami НД, co zapewnia uzyskanie ciśnienia 30 atm. Woda uzdatniona tłoczona jest do miasta dwoma przewodami tranzytowymi o średnicach 1200 mm i 1400 mm o łącznej długości 222 km wybudowanymi w latach 1983–1990. System dostarcza do miasta w ciągu doby wodę w ilości 135 tys. m^3 pokrywając 23,4% jego potrzeb.

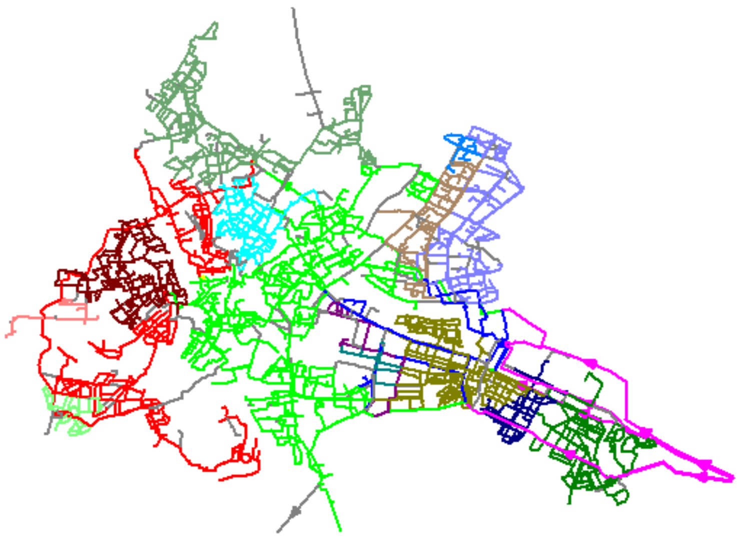


Rys. 2. System przesyłu wody do zbiornika Czerwonopawliwskiego

Trzecim źródłem zaopatrzenia miasta Charkowa w wodę jest zespół studni artezyjskich. Obecnie eksploatowane są studnie położone w sąsiedztwie miejscowości Pisoczyn oraz kompleks ujęć w okolicy strefy Piatichatki. System dostarcza wodę w ilości 8,3 tys. m^3/d pokrywając jedynie ok. 1,4% potrzeb wodociągu miejskiego [9 – 11].

3. PROBLEMY ZWIĄZANE Z FUNKCJONOWANIEM PODSYSTEMU DYSTRYBUCJI WODY

Woda uzdatniona dostarczana jest przewodami przesyłowymi do zbiorników wyrównawczych na terenie miasta, skąd zasila miejski system dystrybucji. Schemat systemu dystrybucji wody w Charkowie przedstawiono na rys. 3. Jest on jednym z najbardziej rozwiniętych na Ukrainie. W jego skład wchodzi 306,5 km przewodów magistralnych oraz 1794,8 km przewodów sieci rozdzielczej.



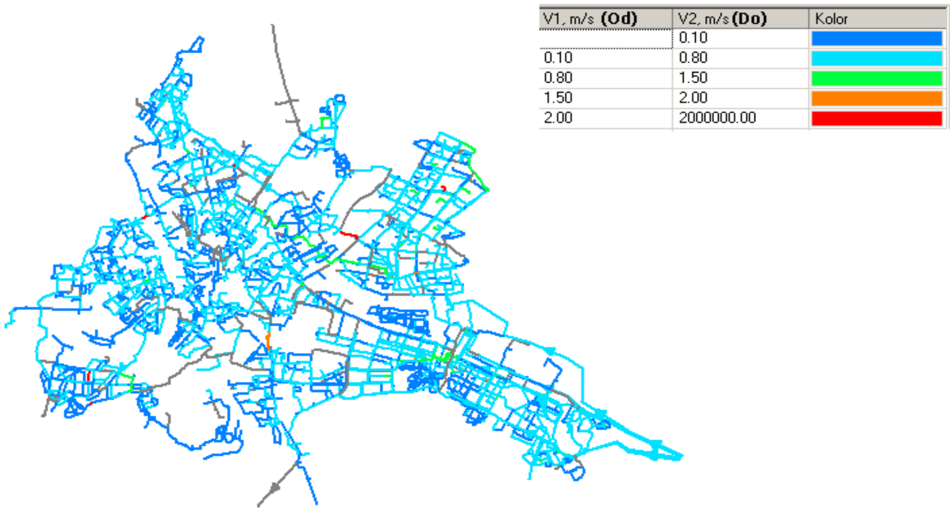
Rys. 3. Schemat podsystemu dystrybucji wody w m. Charkowie

W czasach radzieckich projektowano systemy zaopatrzenia w wodę zakładając znaczny wzrost zużycia wody. Wobec przewymiarowania średnic przewodów wodociągowych obserwuje się obecnie niewielkie prędkości przepływu i długie czasy przebywania wody w przewodach wodociągowych. Na rys. 4 przedstawiono prędkości przepływu wody w sieci wodociągowej.

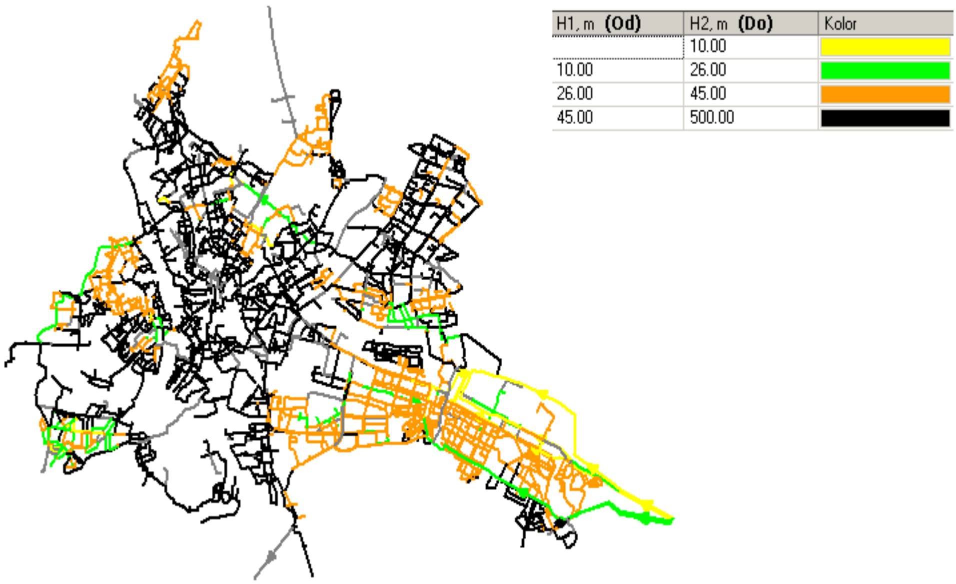
Niewielkie prędkości przepływu wody powodują powstawanie osadów i wtórne jej zanieczyszczenie. Niebezpieczeństwo wtórnego zanieczyszczenia wody związane jest z koniecznością stosowania dużych dawek chloru w celu zapewnienia bezpieczeństwa sanitarnego, co prowadzi do pogorszenia jakości wody kierowanej do odbiorców.

Uwzględniając znaczne różnice rzędnych terenu na obszarze miasta oraz wysoką zabudowę w centralnej jego części projektanci podsystemu dystrybucji wody zakładali zastosowanie bardzo wysokiego ciśnienia, ok. 100 m sł. wody. W mieście znajduje się wiele wysokich budynków (powyżej 25 pięter), które nie zostały wyposażone w lokalne

urządzenia zapewniające podwyższanie ciśnienia. Konsekwencją takiego podejścia do problemu zapewnienia niezbędnego ciśnienia roboczego w podsystemie dystrybucji jest wysoka awaryjność sieci wodociągowej. Rozkład ciśnienia w miejskiej sieci wodociągowej przedstawiono na rys. 5.



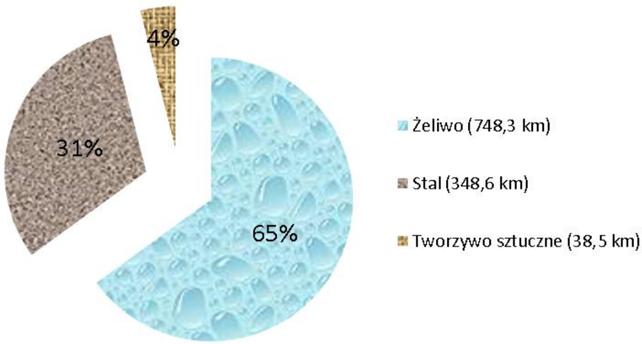
Rys. 4. Rozkład prędkości przepływu wody w przewodach sieci wodociągowej m. Charkowa



Rys. 5. Rozkład ciśnień w sieci wodociągowej Charkowa

Większość przewodów wodociągowych zainstalowano ponad 30 lat temu, co częściowo wyjaśnia ich wysoką awaryjność. Ostatnio określono w ukraińskich wymaganiach technicznych, że maksymalne dopuszczalne ciśnienie w sieci wodociągowej powinno wynosić 45 m sł. wody. Z uwagi na specyfikę zastosowanych rozwiązań technicznych warunek ten nie może być spełniony w Charkowie.

W trakcie budowy podsystemu dystrybucji wody stosowano tradycyjne materiały w postaci żeliwa i stali. Na rys. 6 przedstawiono strukturę materiałową przewodów magistralnych. Jedynie niewielki procent stanowią tworzywa sztuczne. Z uwagi na podatność rur metalicznych na korozję obserwuje się dużą liczbę awarii w ciągu roku. Dodatkowym czynnikiem wpływającym na podatność przewodów wodociągowych na awarie jest fakt, iż znaczna część sieci wodociągowej została posadowiona na gruntach niestabilnych zalegających w dolinach rzecznych.



Rys. 6. Struktura materiałowa przewodów magistralnych w Charkowie

Duża awaryjność podsystemu dystrybucji wody wiąże się z koniecznością prowadzenia kosztownych robót naprawczych oraz ze znacznymi stratami wody sięgającymi ok. 40% ilości wody wprowadzanej do sieci. Zły stan techniczny systemu wodociągowego jest przyczyną poważnych trudności finansowych przedsiębiorstwa wodociągowego. Stwierdzono, że niezbędna jest wymiana wielu odcinków sieci wodociągowej, a także wielu agregatów pompowych z uwagi na ich mało ekonomiczną pracę i znaczną awaryjność. Na podstawie przeprowadzonej ostatnio oceny stanu technicznego systemu dystrybucji wody w Charkowie określono, że niezbędna jest wymiana około 74 km sieci wodociągowej, 69 agregatów pompowych, 69 zaworów w obrębie sieci magistralnej oraz 531 hydrantów.

Istotnym problemem utrudniającym zarządzanie systemem dostawy i dystrybucji wody w Charkowie jest fakt, że przedsiębiorstwo wodociągowe nie dysponuje systemem sterowania pracą sieci. Nie dysponuje także systemem informacji geograficznej (GIS) oraz Automatycznym Systemem Sterowanie Procesami Technologicznymi (ASSTP) [1, 8].

4. WNIOSKI

1. Charków jest największym miastem wschodniej Ukrainy, którego system wodociągowy oparty jest na powierzchniowych źródłach wody, położnych w znacznej odległości od miasta.
2. Duży udział starych rurociągów magistralnych i rozdzielczych związany jest z dużą awaryjnością i znacznymi stratami, sięgającymi 40% wody dostarczonej do miasta.
3. Zmniejszenie wymagań dotyczących maksymalnego dopuszczalnego ciśnienia w sieci wodociągowej do 45 m sł. wody nie rozwiązuje problemu awaryjności i strat wody wobec specyficznej struktury systemu dystrybucji wody.
4. Złożony system zasilania miasta w wodę wyposażony jest w dużą liczbę agregatów pompowych, zaworów, hydrantów i innych elementów uzbrojenia, które wymagają szybkiej wymiany.
5. W Charkowie niezbędne jest natychmiastowe podjęcie działań modernizacyjnych, w tym wymiana wielu odcinków sieci wodociągowej i jej uzbrojenia, a także zbudowanie systemów ASSTP i GIS, które zapewnią prawidłową pracę systemu zaopatrzenia miasta w wodę.

LITERATURA

[1] АБРАМОВ Н.Н. *Теория и методика расчета систем подачи и распределения воды*. М., Стройиздат , 1972. 287 с.

[2] АБРАМОВ Н.Н. *Расчет водопроводных сетей*. М., Стройиздат , 1976. 304с.

[3] Э.В. ЗАЛУЦКИЙ, А.И, Петрухно. *Насосные станции. Курсовое проектирование*. Киев, 1987. 167 с.

[4] КОЖИНОВ И.В. *Наладка и интенсификация работы городских сетей подачи и распределения воды*. М., Стройиздат , 1978. 111 с.

[5] КОРІНЬКО І. В. *Контроль якості води* : [монографія] / І. В. Корінько, В. Я. Кобилянський, Ю. О. ПАНАСЕНКО ; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х. : ХНАМГ, 2013. – 288 с.

[6] *Оцінка екологічного стану поверхневих водних об'єктів басейну Сіверського Дінця*, редакція «ЕПК», 2015. 62 с.

[7] ПЕТРОСОВ В. А. *Устойчивость водоснабжения* / В. А. Петросов – Х.: Фактор, 2007 – 360 с.

[8] Пояснювальна записка до виконання проекту «Спрощений гидравлічний розрахунок системи водопостачання м. Харків», ТОВ «НВП Енертех»б 2012. 72 с.

[9] СНиП 2.04.02-84 (с изм. 1 1986, попр. 2000) *Водоснабжение. Наружные сети и сооружения.*

CHOSEN WATER SUPPLY PROBLEMS IN KHARKOV CITY (UKRAINE)

Kharkiv is the largest city in eastern Ukraine. The water supply system of the city is based on surface water sources midwives at a considerable distance from the city. A large share of the old main pipelines and distribution is associated with a high failure rate and substantial losses of 40% of water supplied to the city. Reduction with the maximum pressure in the water supply network to 45 m does not solve the problem

of failure and loss of water because of the specific structure of water distribution subsystem. The complex system of the city's water supply is equipped with a large number of pump units, valves, hydrants and other devices which require a rapid replacement. In Kharkiv, it is necessary to take immediate modernization, replacement many sections of the water supply network and its devices, as well as build ASSTP and GIS systems to ensure correct functioning of the city's water supply.